

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

#3
7-10-01
Mollett
Oda
Filed 12/20/00
Q61572
10f1

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年12月21日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第362853号

出 願 人

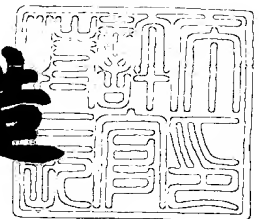
Applicant (s):

日本電気株式会社

2000年 8月25日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3067424

【書類名】 特許願

【整理番号】 74111764

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/3205

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝 5 丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

 【氏名】 小田 典明

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100082935

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 京本 直樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100082924

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 福田 修一

 【電話番号】 03-3454-1111

【選任した代理人】

 【識別番号】 100085268

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 河合 信明

 【電話番号】 03-3454-1111

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 008279

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9115699

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基体上に形成された絶縁層中に、銅配線とこれを被覆する高融点金属窒化物の膜とを有する配線層を、埋設してなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】 前記高融点金属窒化物が、チタン、タンタル及びタングステンよりなる群から選択される少なくとも一種の金属の窒化物である前記請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】 前記配線層は、銅配線の外表面と高融点金属窒化物の膜との間に、銅配線の一部又は全部を被覆する高融点金属の膜が設けられてなる前記請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 4】 前記配線層は、銅配線の側壁面と高融点金属窒化物の膜との間に内部絶縁膜を介装してなる前記請求項 1 又は 3 に記載の半導体装置。

【請求項 5】 前記絶縁層が無機系材料を含有する膜である前記請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 6】 前記銅配線がダマシン配線である前記請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 7】 基体に第 1 絶縁層を形成する第 1 絶縁層形成工程と、前記第 1 絶縁層に配線層用の溝を形成する溝形成工程と、前記溝の内表面を高融点金属窒化物で被覆する第 1 被覆工程と、前記高融点金属窒化物で被覆された溝内に銅配線形成物質を充填する充填工程と、溝内に充填された銅配線形成物質の露出表面を、高融点金属窒化物で被覆する第 2 被覆工程と、第 2 被覆工程で形成された高融点金属窒化物の層及び第 1 絶縁層を露出させてから、露出する高融点金属窒化物の層及び露出する第 1 絶縁層に、第 2 絶縁層を被覆形成する第 2 絶縁層形成工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 8】 前記溝形成工程が、前記第 1 絶縁層に配線層用の溝を、溝の底面を延長するとすれば形成されるであろう仮想延長面と溝の側壁面とのなす傾斜角度が 75 ～ 85 度になるように、形成する溝形成工程である前記請求項 7 に記

載された半導体装置の製造方法。

【請求項 9】 前記充填工程が、前記高融点金属窒化物で被覆された溝の側壁に内部絶縁膜を形成する内部絶縁膜形成工程と、溝の側壁に内部絶縁膜を形成してから溝内に銅配線形成物質を充填する銅配線形成物質充填工程とを有する前記請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】 前記充填工程が、スパッタ法により溝底面に銅膜を形成し、次いで鍍金法により溝内に銅を充填する工程を有する前記請求項 7 に記載された半導体装置の製造方法。

【請求項 11】 前記第 2 絶縁層形成工程は、第 2 被覆工程で形成された高融点金属窒化物の層及び第 1 絶縁層を露出させる際に、化学的機械的研磨法により高融点金属窒化物を研磨除去し、高融点金属窒化物が除去されて第 1 絶縁層が露出することによる物性の変化を検知して研磨操作を停止する工程を有する前記請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】 前記高融点金属窒化物がチタン、タンタル及びタングステンよりなる群から選択される少なくとも一種の金属窒化物である前記請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は半導体装置及びその製造方法に関し、さらに詳しくは、配線容量を小さくして回路動作の高速化を達成することのできる半導体装置及びそのような半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の半導体装置における配線構造は、基体の表面に第 1 の層間絶縁膜を形成し、その第 1 の層間絶縁膜の表面にストッパー膜を介して形成された第 1 のプラズマ酸化膜に溝を形成し、この溝の内壁面に窒化タンタルの層を形成し、窒化タンタルで内壁面が被覆された前記溝内に銅を充填し、充填された銅の窒化タンタルで被覆されていない面を、酸化ケイ素で被覆していた。しかしながら、酸化ケ

イ素は密着性よく銅の表面に被覆されるのであるが、銅が拡散すると言う大きな欠点があった。そこで、通常は、特開平 9 - 2 7 5 1 3 8 号公報に記載されたように、充填された銅の、窒化タンタルで被覆されていない面を比誘電率が 7 ~ 1 0 である窒化ケイ素の膜で被覆し、さらに全体を層間絶縁膜で被覆してなる。

【 0 0 0 3 】

このような配線構造において、高い比誘電率を有する窒化ケイ素の膜で銅配線の表面を被覆する理由は、銅の酸化による抵抗増加、銅の層間絶縁膜への拡散による配線間リーク電流の増加、絶縁耐圧の低下を防止し、さらには基体に搭載されているトランジスタ等の特性への変動を発生させる可能性をなくするためである。

【 0 0 0 4 】

しかしながら、銅配線の表面を窒化ケイ素の層が被覆している配線構造であると、配線上面同士を結ぶ電気力線が増加して配線容量が増加するという問題点があった。しかも、窒化ケイ素は銅との密着性に劣ると言う問題点もある。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

この発明は、配線容量の増加をもたらさない配線構造を有する半導体装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 6 】

この発明は、配線容量の増加をもたらさず、しかも銅配線形成物質に対して密着性よくこれを高融点金属窒化物で被覆してなる配線構造を有する半導体装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 7 】

この発明は、配線容量の増加をもたらさず、エレクトロマイグレーションの極めて少ない半導体装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

この発明は、高融点金属窒化物の膜が銅配線の外周に良好に形成されていて配線容量の増加をもたらさない半導体装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 9 】

この発明は、配線容量の増加をもたらさない配線構造を有する半導体装置を製造する方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 0 】

この発明はまた、配線容量の増加をもたらさず、銅配線形成物質に対して密着性よくこれを高融点金属窒化物で被覆してなる配線構造を有する半導体装置を製造する方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 1 】

この発明は、配線容量の増加をもたらさず、エレクトロマイグレーションの極めて少ない半導体装置を製造する方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

この発明は、高融点金属窒化物の膜が銅配線の外周に良好に形成されていて配線容量の増加をもたらさない半導体装置を製造する方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するためのこの発明は、基体上に形成された絶縁層中に、銅配線とこれを被覆する高融点金属窒化物の膜とを有する配線層を、埋設してなることを特徴とする半導体装置であり、

前記発明の好適な態様において、前記高融点金属窒化物は、チタン、タンタル及びタングステンよりなる群から選択される少なくとも一種の金属の窒化物であり、

前記配線層は、銅配線の外表面と高融点金属窒化物の膜との間に、銅配線の一部又は全部を被覆する高融点金属の膜が設けられてなり、

前記配線層は、銅配線の側壁面と高融点金属窒化物の膜との間に内部絶縁膜を介装してなり、

前記絶縁層が無機系材料を含有する膜であり、

前記銅配線がダマシン配線である。

【 0 0 1 4 】

前記課題を解決する他の発明は、基体に第 1 絶縁層を形成する第 1 絶縁層形成

工程と、前記第 1 絶縁層に配線層用の溝を形成する溝形成工程と、前記溝の内表面を高融点金属窒化物で被覆する第 1 被覆工程と、前記高融点金属窒化物で被覆された溝内に銅配線形成物質を充填する充填工程と、溝内に充填された銅配線形成物質の露出表面を、高融点金属窒化物で被覆する第 2 被覆工程と、第 2 被覆工程で形成された高融点金属窒化物の層及び第 1 絶縁層を露出させてから、露出する高融点金属窒化物の層及び露出する第 1 絶縁層に、第 2 絶縁層を被覆形成する第 2 絶縁層形成工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法であり、

この発明の方法の好適な態様では、前記溝形成工程が、前記第 1 絶縁層に配線層用の溝を、溝の底面を延長するとすれば形成されるであろう仮想延長面と溝の側壁面とのなす傾斜角度が 75°～85°になるように、形成する溝形成工程であり、

前記充填工程が、前記高融点金属窒化物で被覆された溝の側壁に内部絶縁膜を形成する内部絶縁膜形成工程と、溝の側壁に内部絶縁膜を形成してから溝内に銅配線形成物質を充填する銅配線形成物質充填工程とを有し、

前記充填工程が、スパッタ法により溝底面に銅膜を形成し、次いで鍍金法により溝内に銅を充填する工程を有し、

前記第 2 絶縁層形成工程は、第 2 被覆工程で形成された高融点金属窒化物の層及び第 1 絶縁層を露出させる際に、化学的機械的研磨法により高融点金属窒化物を研磨除去し、高融点金属窒化物が除去されて第 1 絶縁層が露出することによる物性の変化を検知して研磨操作を停止する工程を有し、

前記高融点金属窒化物がチタン、タンタル及びタングステンよりなる群から選択される少なくとも一種の金属窒化物である。

【0015】

【発明の実施の形態】

図 1 に示されるように、この発明の一例である半導体装置 1 は、基体 2 の表面に形成された絶縁層 3 内に、高融点金属窒化物の膜 4 で銅配線 5 の外周を被覆してなる配線層 6 が、埋設されてなる。

【0016】

前記基体は、その上に超小型回路を形成させることのできる薄板であり、また

、プレーナプロセスで製造可能な基板であればよく、例えばシリコン基板、GaAs等の半導体を搭載した基板、不純物拡散領域を一部に形成してなる基板、チップを形成してなる基板等を挙げることができる。この基体の材質としては、この半導体装置の特性或いは所望の用途に応じて適宜に決定されるが、通常の場合、セラミックス、ガラス及びシリコン等を挙げることができる。

【0017】

この基板の表面には、絶縁層が形成される。層間絶縁膜とも称されるこの絶縁層としては、たとえば1.6～9、好ましくは1.6～4.5の比誘電率を有する無機系材料で形成された層、及び、たとえば1.6～3の比誘電率を有する有機系材料で形成された層を挙げることができる。

【0018】

無機系材料及び有機系材料の比誘電率が前記範囲内にあると、配線容量低減率を大きくすることができる。

【0019】

前記のような低い比誘電率を有する無機系材料としては、二酸化ケイ素、三酸化ケイ素、リンガラス(PSG)、硼素ガラス(BSG)、リン硼素ガラス(BPSG)、SiOF、多孔性シリカ等を挙げることができる。また、前記のような低い比誘電率を有する有機系材料としては、ポリイミド樹脂、BCB(Benzocyclobuten)、MSQ等を挙げることができる。

【0020】

配線層を埋設している絶縁層は、この半導体装置の製造上の都合により、その内部にストッパー膜を内包していても良い。ストッパー膜としては、エッチング操作の終点を決定することのできる物質で形成することができる。エッチングの終点は、例えばエッチング操作中にエッチング速度が変化することにより決定することができ、或いはエッチング操作中に絶縁層とは異なる成分が発生したことを検知することにより決定することができる。したがって、ストッパー膜としては、絶縁層をエッチングする際のエッチング速度とは異なるエッチング速度でエッチングされる物質、或いは絶縁層をエッチングする際に発生するガスとは異なるガスを発生させる物質で形成することができ、そのような物質として、例えば

SiON、SiN等を挙げることができる。このストッパー膜の厚みは通常、20～200nmである。

【0021】

この絶縁層の厚みは、全体として、0.5～50μmの範囲内にある。この発明の半導体装置においては、このような厚みの絶縁層中に一層の、或いは多層の配線層が埋設されている。

【0022】

この発明の半導体装置における配線層は、銅配線の外周面に、高融点金属窒化物を被覆してなる構造を有する。

【0023】

銅配線は、銅若しくは銅を主成分とする導電性物質で形成されるのが好ましい。銅を主成分とする導電性物質は、通常、銅を少なくとも50重量%、好ましくは50～99重量%の割合で含有する。銅と共に銅配線を形成することのできる物質としては、銅と合金を形成することができる限り特に制限がないのであるが、たとえば錫等の金属を挙げることができる。なお、この銅及び銅を主成分とする導電性物質を銅配線形成物質と称することがある。

【0024】

この銅配線の厚みは、絶縁層全体の厚みに応じて通常0.1～10μm、好ましくは0.1～3μmの範囲内にある。銅配線の厚みが0.1μmよりも小さいと、銅配線層が高抵抗値を有するに至ることがあって好ましくなく、10μmよりも大きいと、銅配線のエッジカバレッジが悪くなることがある。

【0025】

前記高融点金属窒化物としては、たとえば窒化チタン（融点：2950℃）、窒化バナジウム（融点：2050℃）、窒化クロム（分解点：1900℃）、窒化ジルコニウム（融点：2980℃）、窒化ニオブ（融点：2578℃）、窒化タンタル（融点：3090℃）、窒化タングステン（融点：3380℃）等を挙げることができる。これらの中でも、窒化チタン、窒化タンタル及び窒化タングステン等が好ましい。

【0026】

配線層は、銅配線の外周を前記高融点金属窒化物で被覆してあれば良く、例えば銅配線の外周に直接に前記高融点金属窒化物で被覆されていても、また、銅配線の外周に高融点金属を介在させて前記高融点金属窒化物で被覆されていても良い。銅配線の全周を高融点金属で被覆し、更にその全周を高融点金属窒化物で被覆すると、銅配線形成物質の結晶性が良好になり、エレクトロマイグレーション耐性が向上する。

【 0 0 2 7 】

前記高融点金属としては、たとえばチタン（融点：1 6 6 7℃）、バナジウム（融点：1 9 1 5℃）、クロム（融点：1 9 0 0℃）、ジルコニウム（融点：1 8 5 7℃）、ニオブ（融点：2 4 6 8℃）、モリブデン（融点：1 6 2 0℃）、ハフニウム（融点：2 2 2 2℃）、タンタル（融点：2 9 8 0℃）、タングステン（融点：3 3 8 0℃）等を挙げることができる。これらの中でも、チタン、タンタル、及びタングステンが好ましい。

【 0 0 2 8 】

また、前記高融点金属又は高融点金属窒化物としては、融点が5 0 0℃以上であれば良く、好ましくは1 0 0 0℃以上、好ましくは1 5 0 0℃以上の金属又は金属窒化物がよい。なお、この発明においては、融点という概念に分解点を含める。

【 0 0 2 9 】

高融点金属窒化物を銅配線の被覆部材として採用すると、配線層を多層に形成するために複数回の熱処理を行っても銅配線自体又は絶縁層の特性劣化を防止することができ、さらには製造工程における過酷な条件に対しても安定であるという利点がある。しかも、銅配線を高融点金属膜だけで被覆すると、層間絶縁膜が含フッ素絶縁膜例えばSiOFであるときにその層間絶縁膜中のフッ素と高融点金属膜とが反応を起こし、高融点金属膜と層間絶縁膜との密着性が低下すると言う問題が生じるところ、高融点金属膜と層間絶縁膜との間に高融点金属窒化物の膜が存在すると、高融点金属と層間絶縁膜との反応が阻止され、密着性が良好に維持されるという利点もある。

【 0 0 3 0 】

この発明において重要なことは、絶縁層中に埋設された銅配線の外周面を、前記高融点金属窒化物で被覆して成ることである。この高融点金属窒化物を有する層を高融点物質被覆層と言うこともできる。

【 0 0 3 1 】

この高融点物質被覆層は、たとえば銅配線の上下面に形成される高融点金属窒化物と銅配線の側壁面に形成される高融点金属窒化物とが相違していても良いが、銅配線の上下面及び側壁面が同一種類の高融点金属窒化物で形成されているのが好ましい。

【 0 0 3 2 】

また、銅配線の外周面を被覆する高融点物質被覆層は、異なる高融点金属窒化物で形成された複数の層から形成されていてもよい。もっとも、この半導体装置を簡易に製造するという観点からすると、高融点金属窒化物は単層であるのが好ましい。

【 0 0 3 3 】

単層又は複数層からなるこの高融点物質被覆層の厚みは、通常 2 ～ 5 0 n m である。高融点物質被覆層の厚みが 2 n m よりも小さいと溝内に充填されるべき銅配線形成物質が析出できなくなることがあり、たとえ銅配線形成物質が析出したとしても銅の配向性が悪くなることがある。高融点物質被覆層の厚みが 5 0 n m よりも大きくなると、窒化ケイ素で被覆する場合に比べて配線容量の低減率が小さくなることがある。また、銅配線形成物質の基板とは反対側の面すなわち上面を被覆する高融点物質被覆層の厚みが前記 2 ～ 5 0 n m であると、高融点物質被覆層の銅配線形成物質に対する密着性が良好である。

【 0 0 3 4 】

なお、絶縁層中に埋設された、上下の位置関係にある 2 本の配線層が、結合配線層により電氣的に結合されているときには、この結合配線層においても、高融点金属窒化物で結合用の銅配線の外表面が被覆されて成る。

【 0 0 3 5 】

図 2 に示されるように、この発明に係る半導体装置 1 においては、前記配線層 6 が、銅配線 5 の側面と高融点物質被覆層 4 との間に、内部絶縁層 7 を有するこ

とがある。この内部絶縁層 7 が存在すると、銅配線形成物質を溝内に充填する際に、溝側面での銅の成長を防止することができる。この内部絶縁層 7 の許容される層厚としては、通常、10～50 nm である。

【0036】

この内部絶縁層 7 としては、基板の表面に形成される絶縁層と同様の材質で形成することができ、酸化ケイ素が好適である。

【0037】

上記構成の半導体装置においては、銅配線形成物質と高融点物質被覆層との密着性が良好であり、層間絶縁層中に埋設される配線層間の距離が短くなっても配線容量の増加が抑制され、回路動作の高速化が達成され、しかも銅配線を構成する金属原子たとえば銅原子が層間絶縁層中に拡散することによる回路の誤動作が防止される。

【0038】

この発明の半導体装置は以下のようにして製造することができる。

【0039】

先ず、基体は無機系材料の第 1 絶縁層を形成する（第 1 絶縁層形成工程）。

【0040】

前記基体の表面に形成される第 1 絶縁層としては、基体と配線とに対して絶縁効果を奏することができる限りその無機系材料の種類及び層構成について特に制限がない。配線層を形成するための溝を好適に形成するためには、図 3 に示されるように、基体 2 の表面に、第 1 絶縁層 8 として、層間絶縁層 9、ストッパー層 10、及び第 1 絶縁膜 11 をこの順に形成するのが好ましい。

【0041】

前記層間絶縁層は、導電率が $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上である無機物質であればよく、例えば二酸化ケイ素、 SiOF 、 HSQ 等で好適に形成され、たとえば熱酸化法、又は SiH_4 と N_2O を用いるプラズマ CVD 法により形成することもできるが、熱 CVD 法、光 CVD 法、テトラエトキシシラン（ TEOS ）と酸素とを用いるプラズマ CVD 法により形成することもできる。

この層間絶縁層は、通常 0.6～1 μm の厚みに形成される。

【 0 0 4 2 】

前記ストッパー層は、エッチングにより溝を形成する際のエッチング深さを調節するために設けられる層であり、たとえば SiON 等を前記層間絶縁層と同様にして形成される。このストッパー層の厚みは既述のとおりである。

【 0 0 4 3 】

第 1 絶縁膜は、前記層間絶縁層と同じ種類の材質で形成されていてもよく、また前記層間絶縁層とは異なる材質で形成されていても良い。通常の場合、この第 1 絶縁膜は、Si の酸化物であるのが好ましい。この第 1 絶縁膜は、前記層間絶縁層と同様にしてストッパー層上に形成される。この第 1 絶縁膜の厚みは通常、 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 4 4 】

前記第 1 絶縁層形成工程の後に、図 4 に示されるように、前記第 1 絶縁層 8 中に配線層用の溝 12 が形成される（溝形成工程）。

【 0 0 4 5 】

溝は、フォトリソグラフィーを利用したウエットエッチング及びドライエッチングの何れによっても形成されることができ、好適な溝形成法はフォトリソグラフィーを利用したドライエッチングである。ドライエッチングは微細な溝を形成することができるからである。また、ドライエッチングとしてイオンビームエッチング、光エッチング、プラズマエッチング、並びにスパッタエッチング及び反応性イオンエッチング等を採用することができる。これらの中でも、エッチング操作の調整が容易であり、又量産性に富むと言う観点から、反応性イオンエッチングが好ましい。

【 0 0 4 6 】

エッチングにより形成される溝の深さは、この半導体装置の設計に応じて適宜に決定されるのであるが、通常、 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ であり、溝の幅は通常、 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ である。第 1 絶縁層にストッパー層が設けられているときには、溝はこのストッパー層に至る深さとなる。

【 0 0 4 7 】

この溝は、通常、縦断面が倒立台形（上辺が底辺よりも長い台形）となるよう

に、換言すると、溝の壁面が底面に向かって傾斜するように形成されるのが、好ましい。好ましい溝断面は、溝の底面に対して壁面が傾斜してなる倒立台形である。この壁面の傾斜角、すなわち、溝の底面を延長するとすれば形成されるであろう仮想延長面と溝の側壁面とのなす角度は、実施例において示されるグラフに基づき 70～85 度が良好である。さらに好ましくは、75～85 度が良好である。

【0048】

溝の形成後に、図 5 に示されるように、前記溝 12 の内壁の表面及び底面を、高融点金属窒化物の膜 4 で、被覆する（第 1 被覆工程）。

【0049】

高融点金属窒化物の膜による被覆は、直流スパッタ法及び高周波スパッタ法等のいずれかにより行われる。スパッタ法による高融点金属窒化物の被膜形成は、不純物の混入が少ないという利点がある。また、マグネトロンスパッタ法を採用すると、高融点金属窒化物の被膜を高速で形成することができる。

【0050】

高融点金属窒化物の被膜形成処理は、通常 2～50 nm の膜厚になるまで、行われる。

【0051】

この第 1 被覆工程においては、前記高融点金属窒化物の被膜を形成した後に、高融点金属窒化物の表面に高融点金属の被膜を形成しても良い。

【0052】

なお、この充填工程で、図 6 に示されるように、溝内に前記銅配線形成物質を充填する前に内部絶縁層 7 をさらに形成しても良い。内部絶縁層 7 は、溝内の壁面及び底面を被覆した前記高融点金属窒化物の被膜の表面に形成しても良い。

【0053】

内部絶縁層は、たとえば前記層間絶縁層又は第 1 絶縁膜を形成するのと同様の方法にて、前記層間絶縁層又は第 1 絶縁膜と同じ或いは異なる種類の材質で、形成されることができる。この内部絶縁層の厚みは、通常、10～50 nm である。また、溝の底付近に形成された内部絶縁層は、銅の充填に際する銅の成長点を

形成するために、たとえば異方性エッチングにより除去する。

【0054】

図5に示した第1被覆工程に次いで、前記高融点金属窒化物で被覆された溝内に、銅配線形成物質、たとえば銅若しくは銅を主成分とする導電性物質を、充填する（充填工程）。

【0055】

銅配線形成物質の充填は、たとえばスパッタ法と鍍金法とを組み合わせるのが好ましい。図7に示されるように、スパッタ法により銅配線形成物質13たとえば銅を主成分とする導電性物質を膜厚2～50nmとなるように溝12内に形成し、次いで、図8に示されるように、鍍金法により溝12内に前記銅配線形成物質14を膜厚200～400nmとなるように充填する二段充填法を採用するのが好ましい。

【0056】

このように銅配線形成物質を二段階にわたって溝内に充填すると、溝内の銅配線形成物質、特に銅の配向性が向上し、エレクトロマイグレーション耐性が向上するという利点がある。

【0057】

上記のように溝内に銅配線形成物質を充填すると、それまでの工程により、図8に示されるように、第1絶縁層8の表面には、高融点金属窒化物の膜4、銅配線形成物質充填物14が形成されている。

【0058】

その後に、図9に示されるように、第1絶縁層8の表面における各種被膜を除去することにより、第1絶縁膜8を露出させる。この除去操作には、たとえば化学的機械的研磨法（CMP）が好適に採用される。この除去操作においては、溝内の銅配線形成物質の露出表面よりも第1絶縁膜の露出表面が高くなるように研磨することが重要である。なお、この研磨を行う工程を研磨工程と称することができる。

【0059】

この研磨操作は、次の第2被覆工程が終了してから、行っても良い。

この後、図 1 0 に示されるように、銅配線形成物質 1 4 の露出表面を、高融点金属窒化物の膜 4 A で被覆する（第 2 被覆工程）。

【 0 0 6 0 】

この高融点金属窒化物は、前記第 1 被覆工程で採用される高融点金属窒化物と異なる物質であってもよいが、同じ物質であるのが望ましい。

【 0 0 6 1 】

この高融点金属窒化物の膜は、前記第 1 被覆工程と同様にして、溝内に充填された銅配線形成物質の露出表面に形成することができる。

【 0 0 6 2 】

なお、銅配線形成物質の露出表面に高融点金属窒化物の膜を形成するに際し、銅配線形成物質の露出表面以外の露出面たとえば第 1 絶縁層の露出表面をマスクしておいてから、前記第 1 被覆工程と同様にして高融点金属窒化物の膜を銅配線形成物質の露出表面及びマスクの表面に形成し、次いでマスクをそのまま第 1 絶縁層から除去するようにしてもよいのであるが、工程の簡略化を考慮すると、マスクをしないでそのまま前記第 1 被覆工程と同様にして銅配線形成物質の露出表面及び第 1 絶縁層の露出表面に高融点金属窒化物の膜を形成するのが好ましい。

【 0 0 6 3 】

高融点金属窒化物の膜形成は、銅配線形成物質の露出表面において厚みが 2 ～ 5 0 n m になるまで、行われる。

【 0 0 6 4 】

次いで、図 1 1 に示されるように、化学的機械的研磨法等により、第 1 絶縁膜 1 1 上の高融点金属窒化物の膜を研磨除去する。なお、第 1 絶縁膜 1 1 を研磨して溝 1 2 内における前記高融点金属窒化物の膜 4 A の露出表面と第 1 絶縁膜 1 1 の露出表面とが面一になったかどうかの検出法としては、高融点金属窒化物を化学的機械的研磨法により研磨除去し、高融点金属窒化物が除去されて第 1 絶縁層が露出することによる物性の変化を検知する方法、例えば以下の二方法を挙げることができる。第一の方法は、化学的機械的研磨を行う研磨装置にトルク検出器を設けておき、トルクの変化を検出する方法であり、この方法により第 1 絶縁膜上の高融点金属窒化物の膜を除去できたかどうかを検出することができる。例え

ば、図 1 0 に示すような断面状態になっている場合、研磨装置により高融点金属窒化物の膜 4 A の研磨が終了して第 1 絶縁膜 1 1 の研磨が開始されるとその時点で研磨装置のトルクが変化するので、第 1 絶縁膜の除去が完了したことを検知することができる。また、第二の方法は、光学的方法であり、基板 2 の底面に赤外線照射する赤外線照射装置と、この赤外線照射装置から出射する赤外線の基板に反射した反射光を受光する赤外線受光装置とを備え、研磨装置が第 1 絶縁膜 1 1 上の高融点金属窒化物膜 4 A を除去した時点で、基板の底面で反射した赤外線の光量に変化する。したがって、照射した赤外線の反射光量の変化が検出された時点で第 1 絶縁膜上の高融点金属窒化物が除去されたと判断することができる。

【 0 0 6 5 】

次いで、図 1 2 に示すように、高融点金属窒化物層 4 A の露出表面及び第 1 絶縁層 8 の露出表面に、第 2 絶縁層 8 A を形成する（第 2 絶縁層形成工程）。

【 0 0 6 6 】

なお、前記第 2 被覆工程において、第 2 絶縁層の形成は、第 1 絶縁層形成工程におけるのと同様にして、行うことができる。第 2 絶縁層の形成は、第 1 絶縁層の厚みが例えば $0.6 \sim 1 \mu\text{m}$ になるまで、行われる。この第 2 絶縁層の形成により、第 1 層の配線と第 2 層の配線との間に位置する第 2 層間絶縁層が形成される。

【 0 0 6 7 】

第 2 層間絶縁層上での第 2 層の配線形成は、前記第 1 被覆工程から第 2 絶縁層形成工程までの工程を繰り返すことにより、達成することができる。

【 0 0 6 8 】

以上のようにして、図 1 に示されるような、銅配線形成物質の全周に亘って高融点金属窒化物の膜を被覆してなる配線構造を有する半導体装置を製造することができる。なお、図 6 に示した内部絶縁層 7 形成工程を経て、図 7 以降の工程を行なえば、図 2 に示した銅配線側面と高融点金属窒化物の膜との間に内部絶縁層 7 を有する半導体装置を製造することが出来る。

【 0 0 6 9 】

【実施例】

(実施例 1)

以下のようにして半導体装置を製造した。すなわち、第 1 絶縁層形成工程として、以下の操作を行った。

【0070】

基体として Si 基板の表面に、層間絶縁膜として $0.1\ \mu\text{m}$ の厚みの Si 酸化膜を、常圧 CVD 装置で、形成した。次いで、常圧 CVD 装置によりストッパー膜として SiON を $0.1\ \mu\text{m}$ の厚みに、前記層間絶縁膜の表面に形成した。その後、前記ストッパー膜の表面に、プラズマ CVD 法で、第 1 絶縁膜として $0.5\ \mu\text{m}$ の厚みのプラズマ酸化膜 (Si 酸化物) を形成した。

【0071】

溝形成工程として以下の操作を行った。先ず第 1 絶縁膜の表面に、パターンマスクを、フォトリソグラフィ法により形成した。次いで、反応性イオンエッチング法で、 CF_4 ガスを用いて、溝エッチングを行い、前記第 1 絶縁膜の表面に、深さ $0.5\ \mu\text{m}$ 、幅 $0.3\ \mu\text{m}$ の溝を形成した。この溝の底には、層間絶縁層が露出していた。

【0072】

第 1 被覆工程として、スパッタ法により、厚み $20\ \text{nm}$ の TaN 膜を形成した。

【0073】

充填工程として、先ず TaN 膜の表面に、プラズマ CVD 装置を用いて、内部絶縁層として厚み $10\ \text{nm}$ の Si 酸化膜を形成した。

【0074】

次いで反応性イオンエッチング装置を用いて、 CF_4 、 $1000\ \text{W}$ 及び $10\ \text{Pa}$ という条件で、異方性エッチング処理をすることにより、溝の底に形成された Si 酸化膜を除去して TaN 膜を露出させた。この段階では、第 1 絶縁膜の表面に TaN 膜及び Si 酸化膜がこの順に形成され、溝の底には TaN 膜が露出し、溝の壁面には TaN 膜及び Si 酸化膜がこの順に形成されている。

【0075】

次いで、スパッタ法により、溝内に銅を $2\sim 50\ \text{nm}$ の厚みに充填した。さら

に、銅鍍金装置により、銅の鍍金液を用いて $20 \sim 30 \text{ mA/cm}^2$ という条件にて、溝内に銅を $2 \sim 50 \text{ nm}$ の厚みに充填した。この充填操作を終了した段階では、前記第1絶縁膜上の Si 酸化物の表面にも銅膜が形成されている。

【0076】

次いで、化学的機械的研磨法により、シリカ含有スラリーを用いて、荷重 $2 \sim 10 \text{ psi}$ 及び回転数 $30 \sim 150 \text{ rpm}$ という条件の下で、第1絶縁層上の銅膜、その下に形成されていた Si 酸化膜、Ta₂N₅ 膜及び第1絶縁層の一部を除去した。この状態では、露出した第1絶縁層の高さが、溝内の銅の表面よりも高くなっている。

【0077】

第2被覆工程として、通常のスパッタ法により、溝内の銅表面に厚み $5 \sim 20 \text{ nm}$ の Ta₂N₅ 膜を形成した。このとき、露出していた第1絶縁膜の表面にも Ta₂N₅ 膜が形成される。

【0078】

再び、シリカ含有スラリーを用いて荷重 $2 \sim 10 \text{ psi}$ 及び回転数 $30 \sim 150 \text{ rpm}$ という条件の下に、化学的機械的研磨法により、第1絶縁膜の表面を被覆する Ta₂N₅ 膜及び第1絶縁膜の一部並びに溝内の Ta₂N₅ 膜の一部を研磨して、溝内の充填物の高さを $0.4 \mu\text{m}$ に調整すると共に、溝内の充填物の研磨表面と第1絶縁膜の研磨表面とを面一に調整した。

【0079】

第2絶縁層形成工程として、前記第1絶縁層形成工程と同様にして、Si 酸化膜を形成した。

【0080】

得られた半導体装置は、配線幅と配線間隔が $1:1$ であり、配線ピッチが $0.5 \mu\text{m}$ であり、銅を Ta₂N₅ 膜で被覆してなる配線層の厚みが $0.4 \mu\text{m}$ である。また、形成されている Si 酸化膜の比誘電率は、 4.1 である。

【0081】

上記と同様にして、配線幅と配線間隔が $1:1$ であり、配線ピッチが $0.6 \mu\text{m}$ であり、銅を Ta₂N₅ 膜で被覆してなる配線層の厚みが $0.4 \mu\text{m}$ である半導体

装置、及び配線幅と配線間隔が1：1であり、配線ピッチが0.8であり、銅をTa₂N₅膜で被覆してなる配線層の厚みが0.4 μmである半導体装置を製造した。

【0082】

これら三種の配線寸法を有する半導体装置における銅配線の配線容量を測定した。測定結果を図13に示した。

【0083】

(比較例1)

溝内にTa₂N₅膜を形成せず、溝内に充填された銅の表面に厚み0.05 μmのSi₃N₄窒化膜を、プラズマCVD法で形成した外は、前記実施例1と同様にして三種の配線寸法を有する半導体装置を製造した。

【0084】

これら三種の配線寸法を有する半導体装置につき、前記実施例1と同様にして銅配線の配線容量を測定した。測定結果を図13に示した。

【0085】

(実施例2)

前記実施例1におけるのと同様の基体の表面に、Si₃N₄酸化膜の代わりに低誘電率膜（比誘電率：2.6）として厚み0.4 μmのBCBを、回転塗布法及びそれに続くアニールにより有機系絶縁膜を形成した外は、前記実施例1と同様にして三種の配線寸法を有する半導体装置を製造した。

【0086】

これら三種の半導体装置につき、前記実施例1と同様にして銅配線の配線容量を測定した。測定結果を図13に示した。

【0087】

(比較例2)

前記実施例1におけるのと同様の基体の表面に、Si₃N₄酸化膜の代わりに低誘電率膜として厚み0.4 μmのBCBを、回転塗布法及びそれに続くアニールにより有機系絶縁膜を形成し、溝内にTa₂N₅膜を形成せず、溝内に充填された銅の表面に厚み0.05 μmのSi₃N₄窒化膜をプラズマCVD法で形成した外は、前記実

施例 1 と同様にして三種の配線寸法を有する半導体装置を製造した。

【 0 0 8 8 】

これら三種の半導体装置につき、前記実施例 1 と同様にして銅配線の配線容量を測定した。測定結果を図 1 3 に示した。

【 0 0 8 9 】

上記実施例 1 と比較例 1 との比較結果、及び実施例 2 及び比較例 2 の比較結果から明らかなように、この発明に係る半導体装置においては従来品に比べて容量低減率が大きく減少している。

【 0 0 9 0 】

(実施例 3)

溝の傾斜角を 6 5 ～ 9 0 度の範囲内における種々の値に代え、銅の表面を T a 及び T a N で被覆した外は前記実施例 1 におけるのと同様にして半導体装置を製造した。半導体装置における配線幅は 0 . 3 μ m であり、配線膜厚が 0 . 3 μ m であった。

【 0 0 9 1 】

傾斜角の異なる溝を有する半導体装置につき、エレクトロマイグレーション (E M) 寿命試験により E M の評価を行った。 E M 寿命試験条件としては、電流密度が 3 E 6 A / c m ²、温度が 3 0 0 ℃である。 E M 寿命試験の結果を、図 1 4 に示した。図 1 4 に示されるように、傾斜角は、 7 0 ～ 8 5 度が良好である。

【 0 0 9 2 】

(比較例 3)

溝内に充填された銅の表面を、厚さ 5 0 n m の窒化ケイ素の膜で被覆した外は前記実施例 1 におけるのと同様にして第 2 被覆工程を終え、次いで窒化ケイ素の膜及び第 1 絶縁層を機械的・化学的研磨により露出させた。配線幅と配線間隔とが 1 : 1 であり、配線ピッチが 0 . 4 μ m であった。銅の表面を被覆する窒化ケイ素の膜の密着性を、スコッチテープテストで評価した。このスコッチテープテストは、膜の表面に 1 m m ² の大きさの、 1 0 ケ x 1 0 ケの正方形の集合に切り、その表面にテープを貼り付け、次いで引き剥がしたときに、テープに付着する正方形の膜の個数で評価された。スコッチテープテストの結果を表 1 に示した。

【0093】

また、溝内に充填された銅の表面を、厚さ50nmの窒化ケイ素の膜で被覆した外は前記実施例1におけるのと同様にして半導体装置（配線幅と配線間隔とが1：1、配線ピッチが0.4μmである。）を製造した。この半導体装置につき、リーク電流テスト（BTテスト）により銅の拡散の程度を評価した。結果を表1に示した。

【0094】

（比較例4）

窒化ケイ素の膜を形成する代わりに酸化ケイ素の膜を形成することの外は前記比較例3と同様に操作してスコッチテープテスト及びリーク電流テストを行った。結果を表1に示した。

【0095】

（実施例4）

前記実施例1において、第2被覆工程の終了後、化学的機械的研磨により溝内の充填物の研磨表面と第1絶縁膜の研磨表面とを面一に調整したものを取り出して、露出しているTa₂Nの密着性を前記スコッチテープテストで評価した。また、前記実施例1における半導体装置（配線幅と配線間隔とが1：1であり、配線ピッチが0.4μmである。）につきリーク電流テストを行った。結果を表1に示した。

【0096】

【表1】

	スコッチテープテスト	リーク電流テスト
比較例3	<u>35</u>	1E-10 (A) オーダー
比較例4	<u>0</u>	< 1E-12 (A)
実施例4	0	< 1E-12 (A)

【0097】

（実施例5）

前記実施例1により得られた半導体装置につき、エレクトロマイグレーション

耐性をEM試験により評価した。EM試験は、電流密度は $3 \text{ E } 6 \text{ A} / \text{c m}^2$ であり、試験温度は300度であった。評価結果を表2に示した。

【0098】

前記実施例1においてTa₂N₃の代わりにTiN、WNの高融点金属窒化物の膜を形成した外は前記実施例1と同様にして半導体装置を製造した。この半導体装置につきEM試験を行い、その評価結果を表2に示した。

【0099】

前記実施例1において銅の外周をTa₂N₃で被覆する代わりに、銅の外周をTaで被覆し、次いでTa₂N₃で被覆した外は前記実施例1と同様に実施して半導体装置を製造した。この半導体装置につきEM試験を行い、その評価結果を表2に示した。

【0100】

【表2】

	EM試験結果、t ₅₀ [H]
銅の全周をTiNで被覆	125
銅の全周をTa ₂ N ₃ で被覆	163
銅の全周をTa、次いでTa ₂ N ₃ で被覆	185
銅の全周をWNで被覆	83

【0101】

【発明の効果】

この発明によると、配線が高融点金属窒化物で囲繞されているので、銅配線が酸化されて高抵抗になってしまったり、あるいは、銅配線を形成する銅が絶縁層中に拡散して隣接配線間でリーク電流が漏電することによる回路の誤動作が防止され、また、エレクトロマイグレーション寿命が長く、しかも配線容量の低減を図ることにより回路動作の高速化を達成することのできる半導体装置を提供することができる。

【0102】

また、この発明によると、上記のように優れた半導体装置を、簡単に製造する

ことのできる方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は、この発明の半導体装置の一例を示す断面説明図である。

【図 2】

図 2 は、この発明の半導体装置の他の例を示す断面説明図である。

【図 3】

図 3 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 4】

図 4 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 5】

図 5 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 6】

図 6 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 7】

図 7 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 8】

図 8 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 9】

図 9 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 1 0】

図 1 0 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略

説明図である。

【図 1 1】

図 1 1 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 1 2】

図 1 2 は、この発明の半導体装置の製造方法の一例における一工程を示す概略説明図である。

【図 1 3】

図 1 3 は、実施例及び比較例における半導体装置に関する配線容量と配線ピッチとの関係を示すグラフである。

【図 1 4】

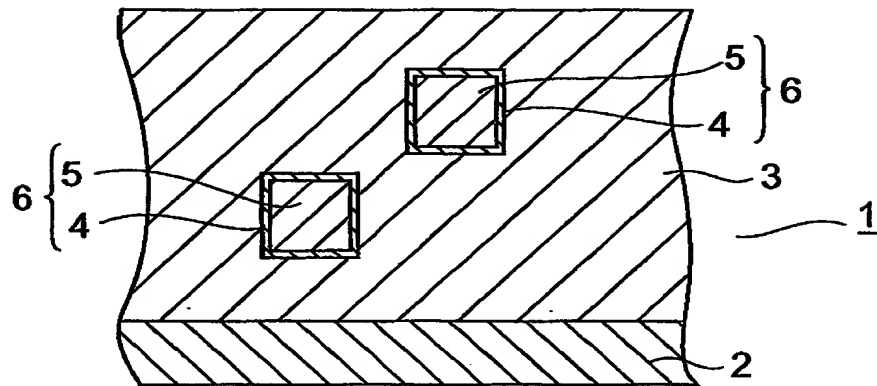
図 1 4 は、実施例における半導体装置における溝の傾斜角度と E M 耐性との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

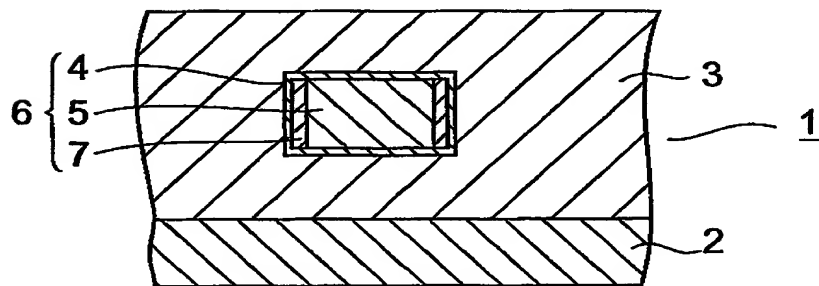
1 …半導体装置、2 …基体、3 …絶縁層、4，4 A …高融点金属窒化物の膜、5 …銅配線、6 …配線層、7 …内部絶縁層、8 …第 1 絶縁層、9 …層間絶縁層、10 …ストッパー層、1 1 …第 1 絶縁膜、1 2 …溝、1 3，1 4 …銅配線形成物質。

【書類名】 図面

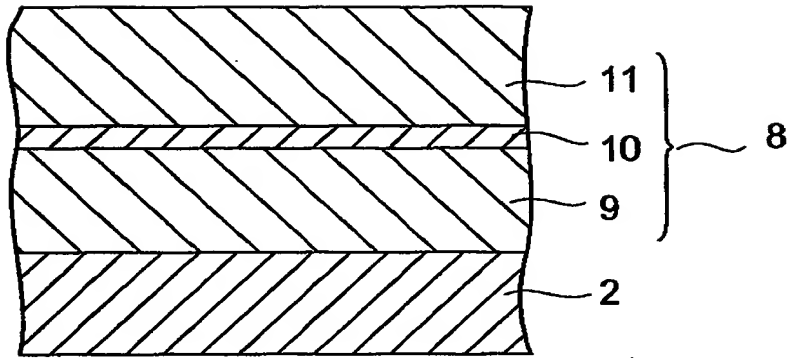
【図 1】



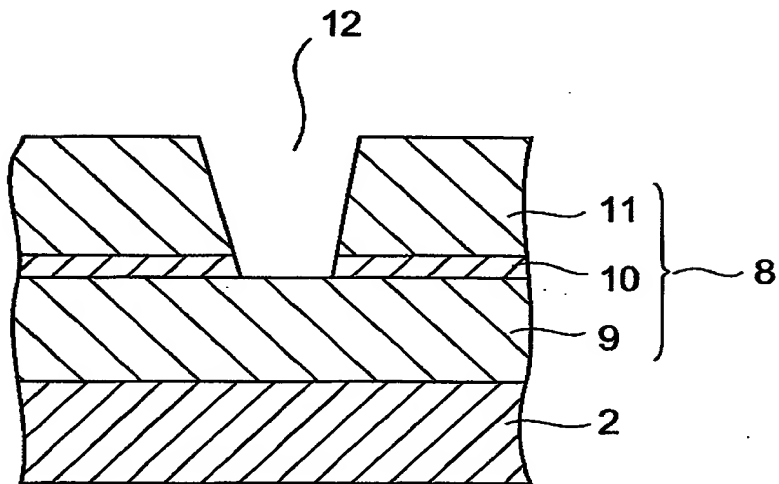
【図 2】



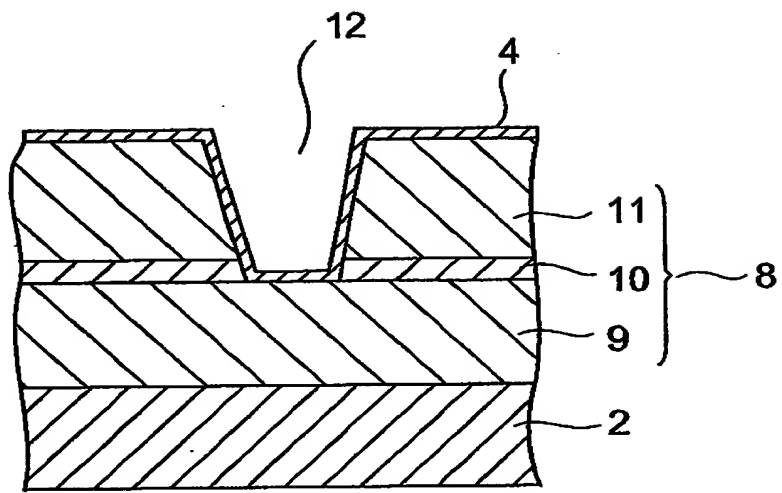
【図 3】



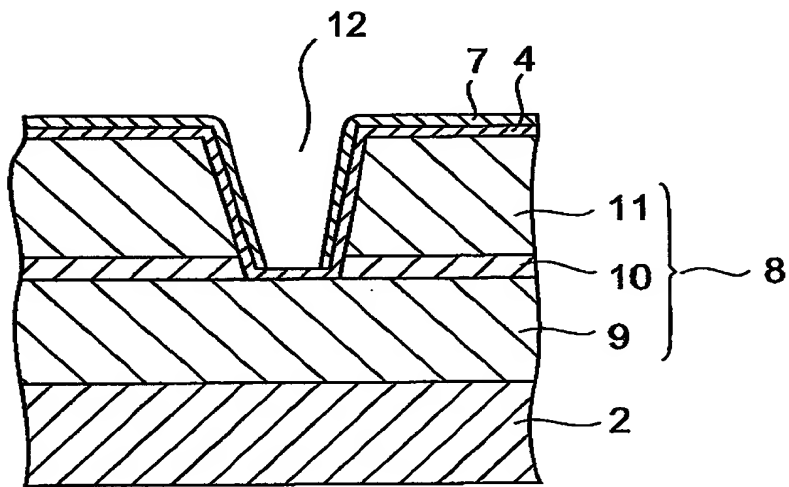
【図 4】



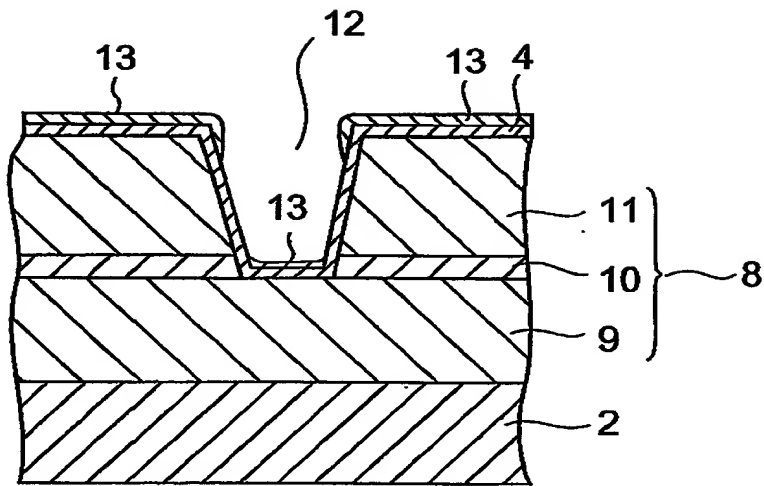
【図 5】



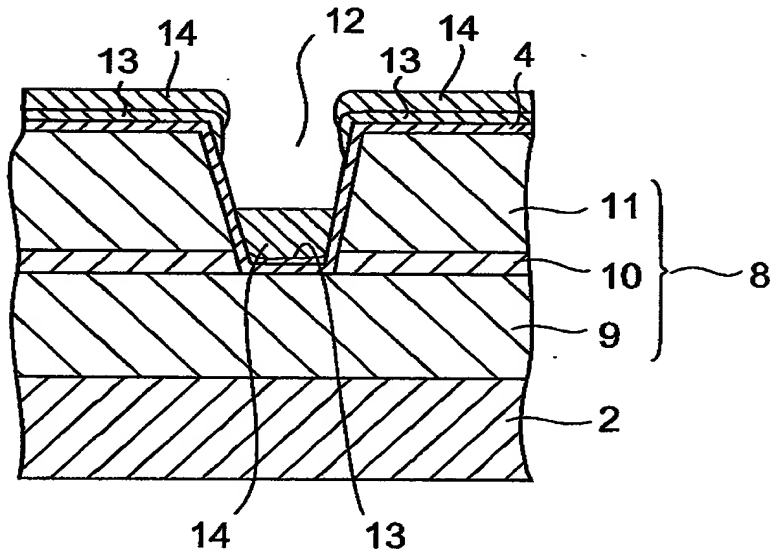
【図 6】



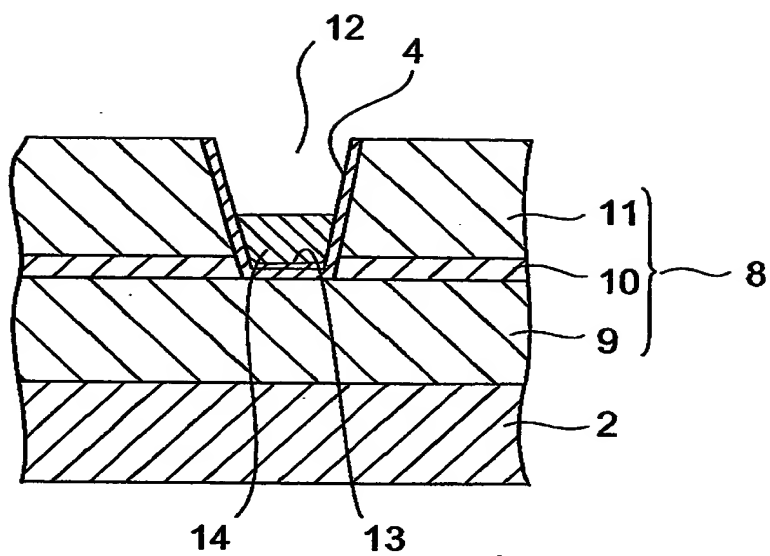
【図 7】



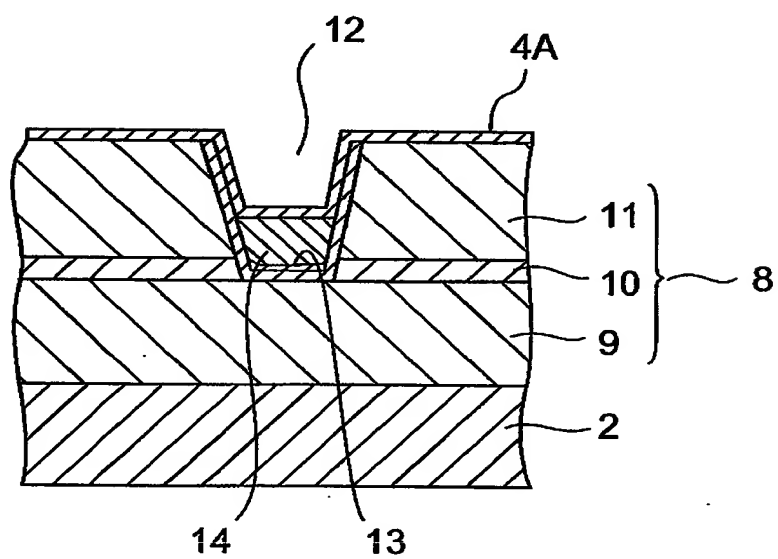
【図 8】



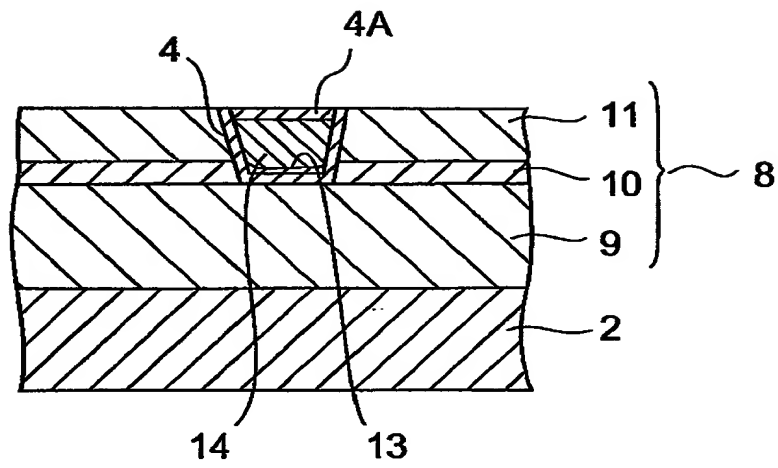
【図 9】



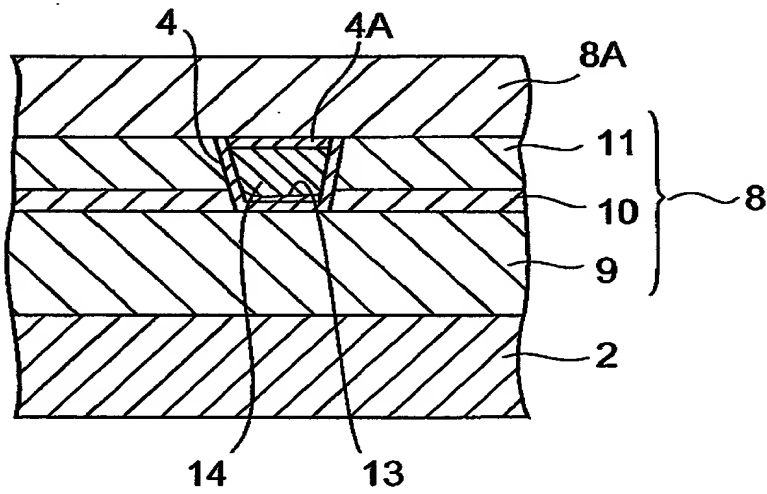
【図 1 0】



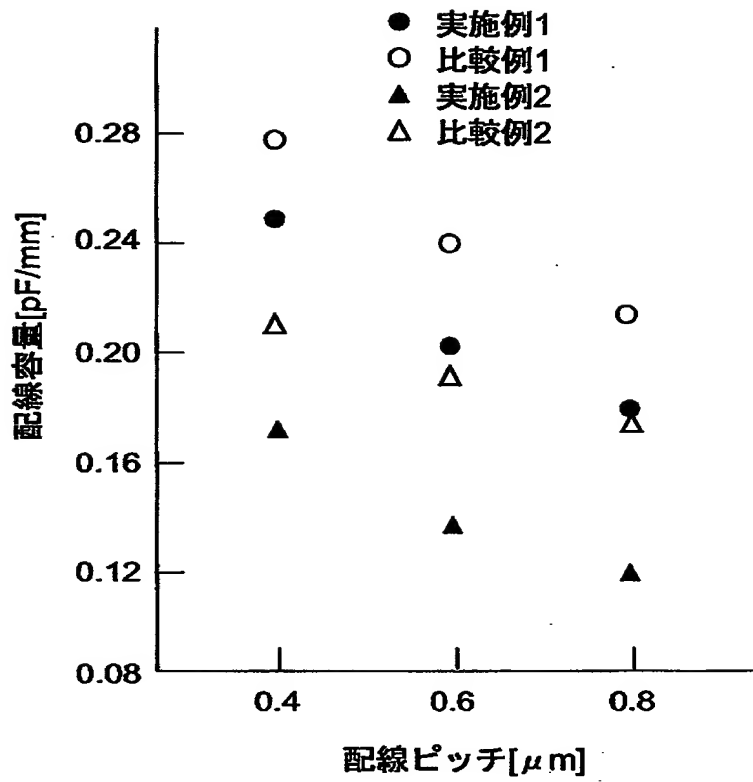
【図 1 1】



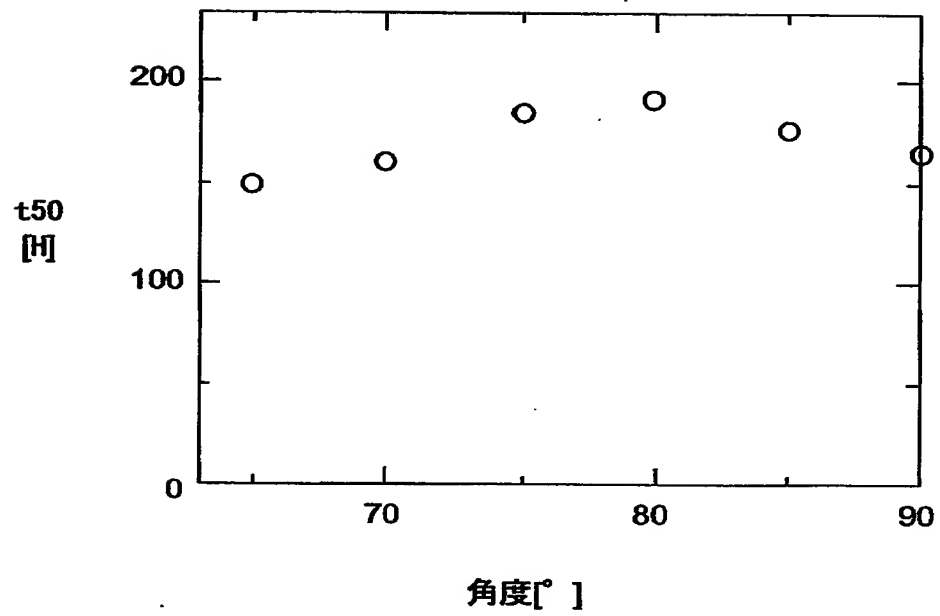
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 回路の誤動作がなく、配線容量の増加を防止して回路の高速化を達成可能な半導体装置及びその製造方法の提供。

【解決手段】 絶縁層内に、配線の外表面全てを高融点金属窒化物で囲繞してなる配線層を、埋設してなる半導体装置及びその製造方法。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成 1 1 年 特許願 第 3 6 2 8 5 3 号
受付番号	5 9 9 0 1 2 4 6 9 1 9
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 2 年 1 月 4 日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成11年12月21日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
氏 名	日本電気株式会社